

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT / IB 0 3 / 0 1 6 0 4

2 3 JUN 2003



10/506915

Rec'd PCT/PTO 03 SEP 2004

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

REC'D 27 JUN 2003

WIPO

PCT

Aktenzeichen:

102 12 427.2

Anmeldetag:

21. März 2002

Anmelder/Inhaber:

Marconi Communications GmbH, Backnang/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Anordnung zum automatischen
Abgleich von Einstellelemente aufweisenden
Einrichtungen sowie ein entsprechendes
Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechen-
des computerlesbares Speichermedium

IPC:

G 05 B, H 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

BEST AVAILABLE COPY

5 **Verfahren und Anordnung zum automatischen Abgleich
von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen sowie
ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein
entsprechendes computerlesbares Speichermedium**

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine An-
ordnung zum automatischen Abgleich von Einstellele-
mente aufweisenden Einrichtungen sowie ein entspre-
chendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entspre-
chendes computerlesbares Speichermedium, welche ins-
15 besondere für den rechnergestützten Abgleich von
Mikrowellenfiltern einsetzbar sind.

Mikrowellenfilter werden auf herkömmliche Weise noch
in vielen Fällen manuell abgeglichen. Die gegenseitige
20 Beeinflussung der Resonatoren und Kopplungen macht
den manuellen sowie auch den automatisierten rechner-
gestützten Abgleich schwierig. Für den manuellen Ab-
gleich dieser Filter ist erfahrenes Personal erforder-
lich und die Abgleichzeit ist deshalb mit hohen
25 Kosten verbunden. Automatisierte Verfahren, die die-
sen komplexen Abgleich befriedigend durchführen, wer-
den bisher nicht eingesetzt.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein
30 Verfahren und eine Anordnung sowie ein entsprechendes
Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes
computerlesbares Speichermedium zu entwickeln, welche

die erwähnten Nachteile überwinden. Insbesondere soll ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, welches leicht an verschiedene abzugleichende Einrichtungen zu adaptieren ist und einen effektiven sowie kosten-
5 günstigen Abgleich ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 18, 19 und 20 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im
10 Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

Ein besonderer Vorteil des Verfahrens zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen besteht darin, dass der Abgleich folgende
15 Schritte umfasst:

- a) Durchführung einer ersten Messung einer durch den Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen
20 Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen,
- b) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung
25 der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung,
- c) Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstellelements und erneute Messung der Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der
30 Einstellelemente,

- d) Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements,
- e) bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wiederholung der Schritte c) und d) für jedes Einstellelement,
- f) Berechnung der Gradientenfunktionen der Kennkurve,
- 10 g) Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter Benutzung von in den Schritten a) und c) gewonnenen Messwerten und den in Schritt f) berechneten Gradientenfunktionen,
- 15 - Elemente auf die berechneten Werte einstellen,
- h) erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" dienen.
- 20

Eine Anordnung zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen Prozessor aufweist, der derart eingerichtet ist, dass das Abgleichverfahren durchführbar ist, wobei der Abgleich die Verfahrensschritte gemäß Anspruch 1 umfasst.

25

Ein Computerprogramm-Erzeugnis zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen ist dadurch ausgezeichnet, dass es ein computerlesbares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm

30

gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen durchzuführen, wobei der Abgleich die Verfahrensschritte gemäß Anspruch 1 umfasst.

10 Auf einem computerlesbaren Speichermedium zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen ist vorteilhafterweise ein Programm gespeichert, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen durchzuführen, wobei der Abgleich die Verfahrensschritte gemäß
15 Anspruch 1 umfasst.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die Start-Referenzeinstellung der Einstellelemente zu
20 Beginn des Verfahrens in der Mitte des jeweiligen Einstellbereichs eines Einstellelements eingenommen oder durch Erfahrungswerte vorgegeben oder durch ein Vorabgleichsverfahren ermittelt wird.

25 Als vorteilhaft erweist es sich ebenfalls, dass nach jeder Messung der Kennkurve ein Test der Abbruchbedingung durchgeführt und das Verfahren bei Erfüllung dieser Bedingung abgebrochen wird. Eine bevorzugte Ausführungsform des erfinderischen Verfahrens
30 besteht darin, dass der Test der Abbruchbedingung einen automatischen Vergleich zwischen den Messwerten

der Kennkurve und vorgebbaren Sollwerten oder Sollbereichen umfasst.

Darüber hinaus erweist es sich als vorteilhaft, dass
5 die Messung der Kennkurve als skalare oder vektorielle Messung erfolgt.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass zur Minimierung der Fehlerfunktion in Schritt g) des Verfahrens gemäß Anspruch 1
10 ein Gradientenverfahren und/oder ein Zufallsverfahren eingesetzt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung
15 ist es vorgesehen, dass die Minimierung der Fehlerfunktion in Schritt g) des Verfahrens gemäß Anspruch 1 abgebrochen wird, wenn bei einem der Messpunkte die Differenz zwischen dem zuletzt ermittelten, theoretischen Wert der Kennkurve und dem Messwert der Kennkurve für die entsprechende Einstellung
20 der Einstellelemente einen ersten vorgebbaren Betrag (ΔS_{llmax}) annimmt oder überschreitet oder wenn bei einem der Messpunkte die Differenz zwischen der zuletzt ermittelten, theoretischen Einstellung und
25 der entsprechenden Einstellung der Einstellelemente einen zweiten vorgebbaren Betrag (ΔE_{Emax}) annimmt oder überschreitet oder wenn bei einer Menge vorgegebbarer Messpunkte die zuletzt ermittelten, theoretischen Werte der Kennkurve einen vorgebbaren Sollwert
30 oder Sollbereich erreicht haben oder wenn bei einer Menge vorgegebbarer Messpunkte die Differenz zwischen in aufeinander folgenden Schritten des Minimierungs-

verfahrens ermittelten, theoretischen Werten der vorgegebenen Messpunkte einen dritten vorgebbaren Betrag annimmt oder unterschreitet. Die letzte Abbruchbedingung verhindert, dass sich die Minimierung der Fehlerfunktion "totläuft", weil sie zum Beispiel in ein nicht erwartetes Minimum abgewandert ist und nur noch in kleinen Schritten in einem begrenzten Bereich bewegt.

10 Als Vorteil erweist es sich dabei, dass die vorgebbaren Beträge und/oder die vorgebbaren Messpunkte für jede abzugleichende Einrichtung individuell durch Testmessungen ermittelt werden.

15 Weiterhin ist es von Vorteil, dass die theoretischen Werte der Kennkurve durch Berechnung einer linearen Näherungsfunktion der Kennkurve ermittelt werden.

20 Darüber hinaus erweist es sich als vorteilhaft, dass der Gradient einer Kennkurve f nach folgender Vorschrift ermittelt wird:

25
$$\begin{aligned} f_{\text{Gradient}}(a,i) &= df(a,i)/dEE(i) \\ &= (f(a,i,1) - f(a,i,0)) / (EE(i,1) - EE(i,0)), \end{aligned}$$

mit:

- i = Nummer des Einstellelements,
- a = Parameter,
- EE = Einstellelement,
- 30 $EE(i,0)$ = Position des Einstellelements Nr. i vor der Abänderung der Referenzein-

stellung,
 $EE(i,1)$ = Position des Einstellelements Nr. i
nach der Abänderung der Referenz-
einstellung,
5 $f(a,i,0)$ = f vor der Abänderung der Referenz-
einstellung des Einstellelements
Nr. i ,
 $f(a,i,1)$ = f nach der Abänderung der Referenz-
einstellung des Einstellelements
10 Nr. i .

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen
Verfahrens besteht darin, dass für eine Kennkurve,
welche neben der Einstellung der Einstellelemente von
15 weiteren veränderlichen Parametern abhängig ist, für
jede Konfiguration der Einstellelemente eine Messung
der Kennkurve für mehrere Messpunkte durchgeführt
wird, wobei jeder Parameter mehrere unterschiedliche
Werte annimmt. Es erweist sich ebenfalls als vorteil-
20 haft, dass die Anzahl der Messpunkte der Anzahl der
Einstellelemente entspricht.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens
besteht darin, dass die durch Abgleich einzuregelnde
25 Einrichtung als Mikrowellenfilter ausgebildet ist.

Vorteilhaft ist ein Vorgehen, bei dem für jede Konfi-
guration der Abgleichelemente eines Mikrowellenfil-
ters eine Messung der Kennkurve für mehrere Mess-
30 punkte durchgeführt wird, wobei die Frequenz als
Parameter mehrere unterschiedliche Werte annimmt.

Darüber hinaus stellt es einen Vorteil dar, dass die Messpunkte gleichmäßig nur über den Filterdurchlassbereich verteilt sind.

- 5 In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die zu regelnde Kennkurve den Reflexionsfaktor S_{11} und/oder den S_{12} -Parameter und/oder den S_{21} -Parameter und/oder den S_{22} -Parameter eines Mikrowellenfilters beschreibt.

- 10 Dabei erweist es sich als vorteilhaft, dass die Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente in Schritt g) des Verfahrens gemäß Anspruch 1 erfolgt, indem das theoretische Verhalten jedes einzelnen
15 Messpunktes bei gleichzeitiger Änderung aller Einstellelemente durch lineare Überlagerung simuliert wird.

- Das erfindungsgemäße Verfahren gestattet es, für Ein-
20 richtungen, die eine Anzahl von n Einstellelementen aufweisen, das Verhalten der zu optimierenden Kennkurve bereits nach $n+1$ Messungen - eine Referenzmessung und n Messungen bei abgeänderter Einstellung von jeweils einem Einstellelement - in einem be-
25 grenzten Bereich ohne weitere Messungen zu berechnen. Der begrenzte Bereich wird durch die Güte der linearen Näherung an die (nichtlineare) Kennkurve bestimmt, welche dem Verfahren zugrunde gelegt wird. Diese Berechnung kann damit (in diesem begrenzten
30 Bereich) für die Optimierung der Einstellungen der Einstellelemente (nach diesen $(n+1)$ Messungen) genutzt werden.

Das Abgleichverfahren kann bei allen Filtertypen, einschließlich der Filter mit einstellbaren Kopplungen, vorteilhaft eingesetzt werden.

- 5 Dabei ist dieses Verfahren nicht auf Filter eingeschränkt, sondern allgemein anwendbar.

10 Die beispielhafte Ausführungsform der Erfindung soll nachstehend am Abgleich eines Mikrowellenfilters dargestellt werden, wobei speziell die Kurve des Reflexionsfaktors an einem Filtertor (S_{11}) optimiert wird.

15 Das im Folgenden beschriebene Abgleichverfahren ermöglicht es, diese Filter mit relativ wenigen Iterationsschritten und dadurch insbesondere in kurzer Zeit automatisch abzugleichen.

20 Das Verfahren läuft in folgenden Schritten ab:

1. Startphase:

25 In Abhängigkeit vom Filtertyp können als Starteinstellungen, die in der beispielhaften Anwendung des Verfahrens Startposition darstellen, zu Beginn des Verfahrens für die Einstellelemente, hier als Abgleichelemente bezeichnet, entweder die Mitte des jeweiligen Einstellbereiches oder auch Erfahrungswerte aus schon abgeglichenen Filtern des gleichen Typs
30 vorgegeben werden. Stehen solche Werte nicht zur Verfügung, muss zuerst eines der an sich bekannten Vorabgleichverfahren durchgeführt werden, um die Start-

positionen zu ermitteln.

2. Iteration - Messung des Reflexionsfaktors S_{11} für die Referenzposition der Abgleichelemente:

5

Nachdem die Abgleichelemente zu Beginn des Abgleichverfahrens diese Startposition eingenommen haben, wird eine erste Messung durchgeführt.

10 Für die gegebenenfalls nachfolgenden Iterationsschritte dienen die im weiteren Verlauf des Iterationsschrittes berechneten Positionen der Abgleichelemente als Referenzposition. Die Abgleichelemente werden dazu in jedem Iterationsschritt neu eingestellt, wobei eine Fehlerfunktion minimiert wird (siehe unten).

15 Die Iterationsschritte werden so oft wiederholt, bis alle Messwerte einen vorgegebenen Sollbereich erreicht haben.

25 Da der Reflexionsfaktor S_{11} nicht nur von der Position der Abgleichelemente abhängt, sondern zusätzlich noch von der Frequenz, erweist es sich als vorteilhaft, den Reflexionsfaktor S_{11} für mehrere verschiedene Frequenzpunkte zu messen.

3. Messung des Reflexionsfaktors S_{11} für einzelne Punkte:

30

Am Anfang jedes Iterationsschrittes befinden sich, wie erwähnt, die Abgleichelemente in der so genannten

Referenzposition. In jedem Iterationsschritt wird der Reflexionsfaktor S11 anschließend für verschiedene Konstellationen der Abgleichelemente gemessen. Und zwar werden die Messungen so durchgeführt, dass jeweils ein Abgleichelement aus seiner zu Beginn des jeweiligen Iterationsschrittes eingenommenen Referenzposition durch eine Probedrehung herausbewegt wird, die übrigen Abgleichelemente jedoch in der Referenzposition verbleiben. Für diese Konstellation wird der Reflexionsfaktor S11 gemessen. (Für jeden Frequenzpunkt ergeben sich somit zusätzlich zu der ersten Messung des Reflexionsfaktors S11 für die Referenzposition der Abgleichelemente n weitere Messungen.)

15

4. Berechnung des Gradienten von S11:

Aus diesen, durch die Messungen erhaltenen Punkten werden die vektoriellen Gradienten anschließend (bei den verschiedenen Frequenzpunkten) nach folgender (oben bereits allgemein formulierten) Definition ermittelt:

$$\begin{aligned} \text{S11Gradient}(v,i) &= d\text{S11}(v,i)/d\text{EE}(i) \\ &= (\text{S11}(v,i,1) - \text{S11}(v,i,0)) / (\text{EE}(i,1) - \text{EE}(i,0)) \end{aligned}$$

25

hier speziell mit

30

v = Frequenz,
 $\text{S11}(v,i,0) = \text{S11 (komplex) vor der Probedrehung des Einstellelements Nr. } i,$

$S_{11}(v, i, 1) = S_{11}$ (komplex) nach der Probedrehung des Einstellelements Nr. i.

- 5 Die übrigen Bezeichnungen entsprechen den oben erläuterten.

10 Um die Messzeit pro Iterationsschritt klein zu halten, ist hier eine geringe Anzahl von Frequenzpunkten, zum Beispiel im Bereich $(1...2) \times$ Anzahl der Einstellelemente sinnvoll, die gleichmäßig nur über den Filterdurchlassbereich verteilt sind.

- 15 5. Berechnung der neuen Positionen der Abgleichelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion:

20 Mit den aktuellen, aus den vorausgehenden Messungen gewonnenen S_{11} -Messwerten und den S_{11} -Gradienten wird dann das theoretische Verhalten jedes einzelnen Messpunktes bei gleichzeitiger Änderung aller Einstellelemente durch lineare Überlagerung simuliert. Damit werden die theoretischen Positionen der Abgleichelemente, bei denen eine neue Berechnung der Fehlerfunktion durchgeführt werden soll, (ebenfalls schrittweise) in einem Näherungsverfahren berechnet. Dafür
25 kann zum Beispiel ein Gradientenverfahren zur Minimierung der Fehlerfunktion, ein Zufallsverfahren oder eine Kombination aus beiden angewandt werden. Ist der neue Fehlerfunktionswert kleiner als der vorhergehende, werden die neuen Positionen der Abgleichelemente als Basis für die nächste Berechnung der Fehlerfunktion verwendet. Jeder Messpunkt, der noch
30

nicht im Sollbereich liegt, liefert einen Beitrag zur Fehlerfunktion. Dieser Beitrag ist um so größer, je weiter ein Punkt vom Sollbereich entfernt ist.

- 5 Die Minimierung der Fehlerfunktion wird gestoppt, wenn sich bei mindestens einem der Messpunkte der berechnete S11-Wert gegenüber dem Referenzwert (das ist der zur Referenzposition gehörige S11-Wert) um mehr als einen vorgebbaren Betrag ($\Delta S_{11\max}$) geändert hat, oder wenn alle Messpunkte in den Sollbereich "hineingewandert" sind. $\Delta S_{11\max}$ darf nicht zu groß gewählt werden, damit die lineare Näherung der tatsächlich nichtlinearen Funktion des Reflexionsfaktors noch genügend genau ist. Wird $\Delta S_{11\max}$ zu klein gewählt, sind viele Iterationen notwendig und der Abgleich dauert zu lange. Einen zu großen $\Delta S_{11\max}$ -Wert erkennt man am besten daran, dass die theoretisch auf Basis der linearen Näherung vorhergesagten S11-Werte und die nach der Iteration für die neue Referenzposition der Abgleichelemente gemessenen S11-Werte nicht mehr übereinstimmen. Den optimalen Wert für $\Delta S_{11\max}$ wird man individuell für jeden Filtertyp durch Testmessungen ermittelt müssen.
- 25 Wenn das Minimierungsverfahren für die Fehlerfunktion abgebrochen wurde, stehen die Referenzpositionen für den folgenden Iterationsschritt zur Verfügung.

- 30 Die Berechnung kann unter Umständen eine neue Position für einzelne Einstellelemente liefern, die sehr weit von der vorangehenden, entsprechenden Referenzposition entfernt ist und den Abgleich wahrscheinlich

verschlechtern würde. Deshalb ist es sinnvoll, auch die Differenz von neu berechneter Position und Referenzposition auf einen Maximalwert (ΔE_{Emax}) zu begrenzen und das Minimierungsverfahren bei Überschreiten dieses Wertes ebenfalls abubrechen.

Gibt es nach dem Abbruch noch Messwerte, die nicht im Sollbereich liegen, wird das Abgleichverfahren mit einem weiteren Iterationsschritt fortgesetzt. Die Einstellelemente werden dann auf die neu berechneten Positionen eingestellt, welche dann als Referenzpositionen für den folgenden Iterationsschritt dienen.

Der Ablauf eines Iterationsschrittes, wie er beispielsweise bei einem 7-Kreis-Filter mit festen Kopplungen bei $\nu_0 = 26$ GHz realisiert wurde, kann im Einzelnen folgendermaßen beschrieben werden:

- (i) Messung des Reflexionsfaktors S_{11} mit allen Abgleichelementen auf Referenzposition;
- (ii) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung;
- (iii) Probedrehung des ersten Abgleichelements;
- (iv) Messung von $S_{11}(\nu_0, 1, 1)$;
- (v) Wiederherstellung der Referenzposition für das erste Abgleichelement und Probedrehung des zweiten Abgleichelements;
- (vi) Messung von $S_{11}(\nu_0, 2, 1)$;
- (vii) Wiederholung von Zeilen (v) und (vi) so lange, bis für alle Abgleichelemente eine Probe-

drehung mit zugehöriger Messung durchgeführt wurde;

- (viii) Berechnung der S11-Gradienten aus den durch die Messungen erhaltenen Punkten;
- 5 (ix) Berechnung von neuen Positionen für alle Abgleichelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion;
- (x) Abbruch der Positions-Berechnung, wenn DeltaS11max bei mindestens einem Frequenzpunkt überschritten wird;
- 10 (xi) Begrenzung der Differenz von neu berechneter Position und Referenzposition für jedes Abgleichelement durch Abbruch der Positions-Berechnung, wenn DeltaEEmax bei mindestens einem Abgleichelement überschritten wird;
- 15 (xii) Abbruch der Positions-Berechnung, sobald sich alle Messpunkte im Sollbereich befinden;
- (xiii) Einstellen der Abgleichelemente auf die neu berechneten Positionen;
- 20 (xiv) Nächster Iterationsschritt: mit (i) beginnen: Referenzpositionen sind nun die im Schritt (xiii) neu eingestellten Positionen.

25 Punkt (i) und (ii) der oben stehenden Beschreibung des Ablaufs eines Iterationsschrittes entsprechen den Schritten a) beziehungsweise b) des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Anspruch 1.

30 Die Punkte (iii) bis (vi) entsprechen den Schritte c) und d); Punkt (vii) dem Schritt e); Punkt (viii) dem Schritt f); die Punkte (ix) bis (xii) geben ein spe-

zielles Ausführungsbeispiel für den Schritt g) des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Anspruch 1.

5 Außer dem im obigen Ausführungsbeispiel behandelten Parameter "Reflexionsfaktor" (S_{11}) können auch zusätzlich oder alternativ die weiteren S-Parameter (S_{21} = Übertragungskurve, S_{12} , S_{22}) oder andere zu optimierende Größen in der Fehlerfunktion berücksichtigt werden.

10 Bei vektoriellen Größen, die sich wie beispielsweise der Reflexionskoeffizient aus Betrag und Phase zusammensetzt, ist es vorteilhaft, diese Anteile separat zu messen und bei der Ermittlung des Gradienten zu verwenden. Bei einer skalaren Messung, bei der man die einzelnen Anteile zu einem Wert zusammenfasst, gehen Informationen verloren, da man nicht mehr erkennt, welcher Anteil welchen Betrag zu dem Messwert beigesteuert hat. Trotzdem ist alternativ auch der

15 Gradient der Fehlerfunktion bei skalarer Messung für den Abgleich verwendbar. Dann sind aber aus den genannten Gründen gegenüber der vektoriellen Methode mehr Iterationen erforderlich und die Wahrscheinlichkeit, dass eine Lösung gefunden wird, ist geringer.

25 Alternativ sind weiterhin auch die bei einem Iterationsschritt ermittelten Gradienten für mehrere darauf folgende Iterationsschritte verwendbar, solange die Fehlerfunktion kleiner wird. Dadurch kann der Abgleich durch Reduzierung der Anzahl der Einstellungen

30 und Messungen noch schneller gemacht werden.

Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier dargestellten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination und Modifikation der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

5 Patentansprüche

1. Verfahren zum automatischen Abgleich von Einstell-
elemente aufweisenden Einrichtungen, **dadurch gekenn-**
zeichnet, dass der Abgleich folgende Schritte um-
10 fasst:

a) Durchführung einer ersten Messung einer durch den
Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen
Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste
15 Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen,

b) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Ver-
fahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung
der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der
20 Abbruchbedingung,

c) Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstell-
elements und erneute Messung der Kennkurve in vor-
gegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der
25 Einstellelemente,

d) Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung
des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements,

30 e) bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wie-
derholung der Schritte c) und d) für jedes Ein-
stellelement,

- f) Berechnung der Gradientenfunktionen der Kennkurve,
- g) Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter Benutzung von in den Schritten a) und c) gewonnenen Messwerten und den in Schritt f) berechneten Gradientenfunktionen,
- 5 - Elemente auf die berechneten Werte einstellen,
- 10 h) erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" dienen.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Start-Referenzeinstellung der Einstellelemente zu Beginn des Verfahrens
- 20 - in der Mitte des jeweiligen Einstellbereichs eines Einstellelements eingenommen oder
- durch Erfahrungswerte vorgegeben oder
- durch ein Vorabgleichsverfahren ermittelt
- wird.
- 25 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach jeder Messung der Kennkurve ein Test der Abbruchbedingung durchgeführt und das Verfahren bei Erfüllung dieser Bedingung ab-
- 30 gebrochen wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Test der Abbruch-
bedingung einen automatischen Vergleich zwischen den
Messwerten der Kennkurve und vorgebbaren Sollwerten
5 oder Sollbereichen umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Kenn-
kurve als

10

- skalare oder
- vektorielle

Messung erfolgt.

15

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Minimierung der Feh-
lerfunktion in Schritt g) des Verfahrens gemäß An-
spruch 1

20

- ein Gradientenverfahren und/oder
- ein Zufallsverfahren

eingesetzt wird.

25

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Minimierung der Feh-
lerfunktion in Schritt g) des Verfahrens gemäß An-
spruch 1 abgebrochen wird,

30

- wenn bei einem der Messpunkte die Differenz zwi-
schen dem zuletzt ermittelten, theoretischen Wert

der Kennkurve und dem Messwert der Kennkurve für die entsprechende Einstellung der Einstellelemente einen ersten vorgebbaren Betrag (ΔS_{llmax}) annimmt oder überschreitet oder

5

- wenn bei einem der Messpunkte die Differenz zwischen der zuletzt ermittelten, theoretischen Einstellung und der entsprechenden Einstellung der Einstellelemente einen zweiten vorgebbaren Betrag (ΔE_{Emax}) annimmt oder überschreitet oder

10

- wenn bei einer Menge vorgegebbarer Messpunkte die zuletzt ermittelten, theoretischen Werte der Kennkurve einen vorgebbaren Sollwert oder Sollbereich erreicht haben oder

15

- wenn bei einer Menge vorgegebbarer Messpunkte die Differenz zwischen in aufeinander folgenden Schritten des Minimierungsverfahrens ermittelten, theoretischen Werten der vorgegebenen Messpunkte einen dritten vorgebbaren Betrag annimmt oder unterschreitet.

20

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass

25

- die vorgebbaren Beträge und/oder
- die vorgebbaren Messpunkte

30 für jede abzugleichende Einrichtung individuell durch Testmessungen ermittelt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die theoretischen Werte der Kennkurve durch Berechnung einer linearen Näherungsfunktion der Kennkurve ermittelt werden.

5

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gradient einer Kennkurve (f) nach folgender Vorschrift ermittelt wird:

10

$$\begin{aligned} \text{fGradient}(a,i) &= df(a,i)/dEE(i) \\ &= (f(a,i,1)-f(a,i,0))/(EE(i,1)- \\ &\quad EE(i,0)), \end{aligned}$$

15

mit: i = Nummer des Einstellelements,
a = Parameter,
EE = Einstellelement,
EE(i,0) = Position des Einstellelements Nr. i vor der Abänderung der Referenzeinstellung,

20

EE(i,1) = Position des Einstellelements Nr. i nach der Abänderung der Referenzeinstellung,

25

f(a,i,0) = f vor der Abänderung der Referenzeinstellung des Einstellelements Nr. i,

f(a,i,1) = f nach der Abänderung der Referenzeinstellung des Einstellelements Nr. i.

30

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für eine Kennkurve,

welche neben der Einstellung der Einstellelemente von weiteren veränderlichen Parametern abhängig ist, für jede Konfiguration der Einstellelemente eine Messung der Kennkurve für mehrere Messpunkte durchgeführt wird, wobei jeder Parameter mehrere unterschiedliche Werte annimmt.

12.. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der Messpunkte der Anzahl der Einstellelemente entspricht.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch Abgleich einzuregelnde Einrichtung als Mikrowellenfilter ausgebildet ist.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jede Konfiguration der Abgleichelemente eines Mikrowellenfilters eine Messung der Kennkurve für mehrere Messpunkte durchgeführt wird, wobei die Frequenz als Parameter mehrere unterschiedliche Werte annimmt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messpunkte gleichmäßig nur über den Filterdurchlassbereich verteilt sind.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu regelnde Kennkurve

- den Reflexionsfaktor (S_{11}) und/oder
- den S_{12} -Parameter und/oder
- den S_{21} -Parameter und/oder
- den S_{22} -Parameter

5

eines Mikrowellenfilters beschreibt.

10

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente in Schritt g) des Verfahrens gemäß Anspruch 1 erfolgt, indem das theoretische Verhalten jedes einzelnen Messpunktes bei gleichzeitiger Änderung aller Einstellelemente durch lineare Überlagerung simuliert wird.

15

20

18. Anordnung mit einem Prozessor, der derart eingerichtet ist, dass ein Verfahren zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen durchführbar ist, wobei der Abgleich folgende Schritte umfasst:

25

a) Durchführung einer ersten Messung einer durch den Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen,

30

b) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung,

- c) Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstell-
elements und erneute Messung der Kennkurve in vor-
gegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der
Einstellelemente,
5
- d) Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung
des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements,
- e) bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wie-
derholung der Schritte c) und d) für jedes Ein-
stellelement,
10
- f) Berechnung der Gradientenfunktionen der Kennkurve,
- 15 g) Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemen-
te durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter
Benutzung von in den Schritten a) und c) gewon-
nenen Messwerten und den in Schritt f) berechneten
Gradientenfunktionen,
20 - Elemente auf die berechneten Werte einstellen,
- h) erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit
Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten
Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" die-
25 nen.

19. Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerles-
bares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm
gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht,
30 nachdem es in den Speicher des Computers geladen wor-
den ist, ein Verfahren zum automatischen Abgleich von

Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen durchzuführen, wobei der Abgleich folgende Schritte umfasst:

- 5 a) Durchführung einer ersten Messung einer durch den Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen,
- 10 b) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung,
- 15 c) Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstellelements und erneute Messung der Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der Einstellelemente,
- 20 d) Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements,
- e) bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wiederholung der Schritte c) und d) für jedes Einstellelement,
- 25 f) Berechnung der Gradientenfunktionen der Kennkurve,
- g) Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter Benutzung von in den Schritten a) und c) gewonnenen Messwerten und den in Schritt f) berechneten Gradientenfunktionen,
- 30

- Elemente auf die berechneten Werte einstellen,

- h) erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" dienen.

20. Computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zum automatischen Abgleich von Einstellelemente aufweisenden Einrichtungen durchzuführen, wobei der Abgleich folgende Schritte umfasst:

- a) Durchführung einer ersten Messung einer durch den Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen,
- b) Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung,
- c) Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstellelements und erneute Messung der Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der Einstellelemente,
- d) Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements,

e) bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wiederholung der Schritte c) und d) für jedes Einstellelement,

5 f) Berechnung der Gradientenfunktionen der Kennkurve,

g) Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter Benutzung von in den Schritten a) und c) gewonnenen Messwerten und den in Schritt f) berechneten Gradientenfunktionen,

10 - Elemente auf die berechneten Werte einstellen,

h) erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" dienen.

15

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum automatischen Abgleich von Einstellelementen aufweisenden Einrichtungen sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und computerlesbares Speichermedium. Es ist vorgesehen, dass der Abgleich folgende Schritte umfasst: **a)** Durchführung einer ersten Messung einer durch den Abgleich zu regelnden Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten, wobei die Einstellelemente eine erste Einstellung, die "Referenzeinstellung", einnehmen, **b)** Test einer Abbruchbedingung und Abbruch des Verfahrens bei Erfüllung dieser Bedingung, Ausführung der nachfolgenden Schritte bei Nichterfüllung der Abbruchbedingung, **c)** Abänderung der Referenzeinstellung eines Einstellelements und erneute Messung der Kennkurve in vorgegebenen Messpunkten für diese Konfiguration der Einstellelemente, **d)** Wiederherstellung der Ausgangsreferenzeinstellung des in Schritt c) abgeänderten Einstellelements, **e)** bei Vorhandensein mehrerer Einstellelemente Wiederholung der Schritte c) und d) für jedes Einstellelement, **f)** Berechnung einer Gradientenfunktion der Kennkurve, **g)** Berechnung neuer Einstellungen der Einstellelemente durch Minimierung einer Fehlerfunktion unter Benutzung von in den Schritten a) und c) gewonnenen Messwerten und der in Schritt f) berechneten Gradientenfunktion, sowie **h)** erneute Durchführung des Verfahrens beginnend mit Schritt a), wobei die in Schritt g) berechneten Einstellungen als neue "Referenzeinstellung" dienen.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.